

ской солнечной активности [4].

Для снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с сейсмической активностью, необходимо при проектировании и строительстве промышленных и гражданских зданий учитывать неблагоприятное воздействие сейсмических событий. Этот учёт особенно необходим при расположении зданий и сооружений в местах ЛТН, где даже при незначительных по магнитуде землетрясениях возможны большие разрушения, которые неизбежно влекут за собой значительный материальный ущерб и даже человеческие жертвы.

Во избежание размещения зданий и сооружений в зонах ЛТН в ЮУрГУ разработана методика учета локальных тектонических нарушений при градостроительном планировании [5]. На первом этапе выбора территории ставится задача получения предварительных данных от геологических организаций о присутствии на участке строительства локальных разломных структур.

На втором этапе устанавливаются точные параметры ЛТН на предполагаемом месте строительства путём полевых исследований. Наиболее эффективным методом для таких исследований принято считать метод спектрально-сейсморазведочного профилирования. Этот метод позволяет без предварительного построения геологического разреза исследовать всю площадь участка. Рекомендуется совмещать спектральную сейсморазведку с традиционными инженерно-геологическими изысканиями с использованием шурфов и отбором керн для определения инженерных характеристик грунта. После установления точного месторасположения ЛТН корректируют выбор «места посадки» здания с учетом исключения попадания его в зону тектонического нарушения. Если исключить попадание в зону нарушений не представляется возможным, по причине большой ширины разломных структур, величины которой могут достигать 2,5-3 км, то в этом случае разрабатывается методика защитных мер, направленная на снижение воздействий вредных факторов от ЛТН. Меры, снижающие вредное воздействие, могут быть разными – от использования специальных материалов в строительстве до классических усиления фундаментов. Помимо разработки методики защитных мер, рассматривается возможность размещения типов зданий определенного конструктивного решения, этажности и т.д.

Методика учета локальных тектонических нарушений при градостроительном планировании, разработанная в ЮУрГУ, позволяет провести комплексный учет всех неблагоприятных факторов в зонах ЛТН при проектировании и размещении зданий и сооружений в городской застройке. Методика также позволяет предусмотреть методы защиты от воздействия негативных факторов, определить зоны, не рекомендуемые для строительства зданий и сооружений по причине невозможности устранения пагубных воздействий как на физическое состояние объектов строительства (изменение свойств грунтов основания), так и на состояние здоровья граждан (радоновое, электромагнитное и другие виды излучений).

Библиографический список

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации. – М.: ТК Вел-Г75, Изд-во Проспект, 2007. – 112 с.
2. Кострюкова, Н.К. Локальные разломы земной коры – фактор природного риска / Н.К. Кострюкова, О.М. Кострюков. – М.: Изд-во Акад. горн. наук, 2002. – 239 с.
3. Трифонов, В.Г. Активная тектоника и геоэкология / В.Г. Трифонов // Проблемы геодинамики и литосферы. – М.: Наука. – 1999. – Вып. 511. – С. 44 - 62
4. Филиппов, Е.М. Земля во власти космоса / Е.М. Филиппов. - М.: Изд-во Знание, 1991. – 48 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер «Науки о Земле»; №10).
5. Оленьков, В.Д. Градостроительная безопасность / В.Д. Оленьков. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 104 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОСЕСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ

В. В. ЧУПИН, Д.Е. ЧЕРНОГУБОВ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Критические нагрузки для составной оболочечной конструкции определяются на основе статического критерия Эйлера [1]. Это позволяет свести отыскание критической нагрузки к нахождению собственного значения системы линеаризованных дифференциальных

уравнений, которые получаются из нелинейных уравнений при рассмотрении двух смежных равновесных состояний [1]. Предположим, что тонкостенная конструкция составленная из оболочек вращения, на некотором этапе нагружения находится в устойчивом осесимметричном состоянии и при добавлении малой нагрузки, стремится перейти в смежное неосесимметричное состояние равновесия.

Напряженно-деформированное состояние, предшествующее моменту потери устойчивости для конструкции, составленной из оболочек вращения, испытывающей сильный изгиб, определяется как в работе [3].

Обозначим величины, характеризующие осесимметричное напряженно-деформированное состояние гибкой оболочки следующим образом: $N_i^0, Q_s^0, M_i^0, u^0, w^0, \varphi^0, r, \dots$. За счет малых неосесимметричных добавок $N_i, S, Q_s, M_i, u, v, w, \dots$ возможен переход от осесимметричного к неосесимметричному деформированному состоянию.

Дополнительные уравнения равновесия и геометрические соотношения для малых неосесимметричных добавок в гауссовой системе координат, связанной с деформированной оболочкой, имеют вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_s}{\partial s} &= -\frac{\cos \varphi}{r} (N_s - N_\theta) - \frac{1}{R_s} \hat{Q}_s - \frac{1}{r} \frac{\partial \hat{S}}{\partial \theta} + \frac{\sin \varphi}{r^2} \frac{\partial H}{\partial \theta} + \frac{\sin \varphi}{r} N_s^0 \theta_s, \\ \frac{\partial \hat{Q}_s}{\partial s} &= -\frac{\cos \varphi}{r} \hat{Q}_s + \frac{N_s}{R_s} + \frac{N_\theta}{R_\theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 M_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2 \cos \varphi}{r^2} \frac{\partial H}{\partial \theta} + \frac{\sin \varphi}{r} Q_s^0 \theta_s + N_s^0 \chi_{\theta}^{k \neq 0}, \\ \frac{\partial \hat{S}}{\partial s} &= -\frac{2 \cos \varphi}{r} \hat{S} - \frac{1}{r} \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} - \frac{\sin \varphi}{r^2} \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta}, \\ \frac{\partial M_s}{\partial s} &= -\frac{\cos \varphi}{r} (M_s - M_\theta) - \frac{2}{r} \frac{\partial H}{\partial \theta} + \hat{Q}_s + N_s^0 \theta_s + \frac{\sin \varphi}{r} (M_s - M_\theta) \theta_s, \\ \frac{\partial u}{\partial s} &= \epsilon_s - \frac{w}{R_s}, \\ \frac{\partial w}{\partial s} &= \frac{u}{R_s} - \theta_s, \\ \frac{\partial v}{\partial s} &= \epsilon_{s\theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\cos \varphi}{r} v, \\ \frac{\partial \theta_s}{\partial s} &= \chi_s.\end{aligned}$$

Физические соотношения для дополнительных деформаций через дополнительные усилия для смежного напряженного состояния

$$\epsilon_s = d_{11} N_{s\Delta} + d_{12} M_s + d_{13} \epsilon_\theta + d_{14} \chi_\theta,$$

$$\epsilon_{s\theta} = d_{21} \hat{S} + d_{22} \hat{\chi}_{s\theta},$$

$$\chi_s = d_{31} N_{s\Delta} + d_{32} M_s + d_{33} \epsilon_\theta + d_{34} \chi_\theta,$$

$$N_\theta = d_{41} N_{s\Delta} + d_{42} M_s + d_{43} \epsilon_\theta + d_{44} \chi_\theta,$$

$$M_\theta = d_{51} N_{s\Delta} + d_{52} M_s + d_{53} \epsilon_\theta + d_{54} \chi_\theta,$$

$$H = d_{61} \hat{S} + d_{62} \hat{\chi}_{s\theta},$$

$$\text{где } N_{s\Delta} = N_s - Q_s^0 \theta_s,$$

$$Q_s^0 = N_s^0 \sin \varphi - N_\theta^0 \cos \varphi,$$

$$\epsilon_\theta = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + u \cos \varphi + w \sin \varphi \right),$$

$$\hat{\chi}_{s\theta} = -\frac{\sin \varphi}{r^2} u + \frac{\cos \varphi}{r^2} w + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta_s}{\partial \theta},$$

$$\chi_\theta = -\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \frac{\sin \varphi}{r^2} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\cos \varphi}{r} \theta_s,$$

$$\frac{1}{\tilde{R}_\theta} - \frac{\sin \tilde{\varphi}}{\tilde{r}} = \chi_\theta - \frac{\cos \tilde{\varphi}}{\tilde{r}} \tilde{\theta}_s = \chi_\theta.$$

Здесь ε – изменение линейной деформации, χ – изменение кривизны при переходе оболочки в неосесимметричное состояние.

Разложим переменные в ряды Фурье по окружной координате:

$$\{N_s, Q_s, N_x, N_z, M_s, u, w, u_x, u_z, \theta_s\} = \sum_{k=0}^{\infty} \{N_s^k, Q_s^k, N_x^k, N_z^k, M_s^k, u^k, w^k, u_x^k, u_z^k, \theta_s^k\} \cos k\theta,$$

$$\{\hat{S}, v\} = \sum_{k=0}^{\infty} \{\hat{S}^k, v^k\} \sin k\theta.$$

Подставляя разложения в уравнения равновесия и геометрические уравнения получим независимые системы уравнений для каждого номера гармоники, представляющее собой независимые системы из восьми обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка для каждого номера гармоники.

Дополняя уравнения физическими соотношениями, условиями сопряжения оболочек и однородными граничными условиями получим линейную однородную краевую задачу по определению величины критических осесимметричных нагрузок, действующих на составную оболочечную конструкцию.

Однородные линейные краевые задачи по определению критических нагрузок для составных оболочечных конструкций, решаются на основе алгоритма изложенного в работе [2].

Признаком выпучивания оболочки по k -ой гармонике является достижение такого уровня нагрузки, при котором решение однородной линейной краевой задачи отличается от тривиального. За критическую нагрузку принимается минимальная из нагрузок, найденных для каждого номера гармоники.

Рассмотрим устойчивость ребристой сферической панели при закритических деформациях, нагруженной внешним давлением q , при подкреплении ее кольцевыми ребрами. Панель имеет радиус кривизны $R = 156,5$ мм, толщину $h = 1$ мм, модуль упругости материала $E = 200$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. На внешнем крае $r = 100$ мм панель имеет жесткую заделку (рис. 1). Гладкая панель теряет устойчивость до первой предельной точки с образованием четырех волн по окружности при давлении $q_{кр}^4 = 688$ кПа. Для обеспечения осесимметричного закритического деформирования панель подкреплялась первым кольцом размером $2h \times 2h$ в зоне потери устойчивости ($r_1 = 79$ мм). После введения кольца потеря устойчивости проис-

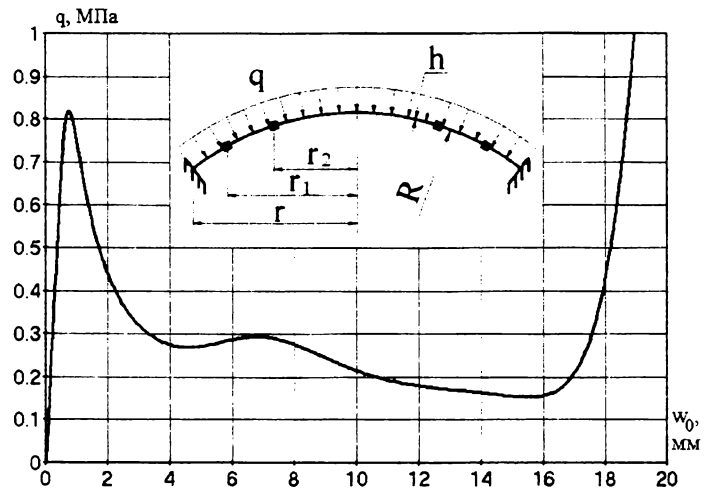


Рис. 1

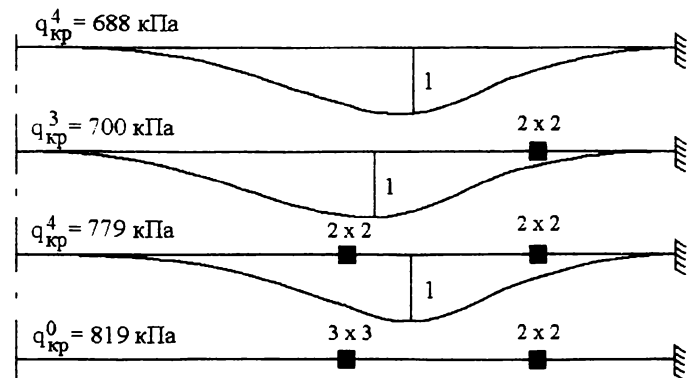


Рис. 2

ходит с образованием 3-х волн по окружности при $q_{3кр} = 700$ кПа. В зону потери устойчивости ($r_2 = 50$ мм) поставлено второе кольцо $2h \times 2h$. Потеря устойчивости в этом случае происходит с образованием 4-х волн при $q_{кр}^4 = 779$ кПа. Соответствующие формы потери устойчивости приведены на рис. 2.

Замена второго кольца ($r_2 = 50$ мм) на более мощное размером $3h \times 3h$ изменяет порядок деформирования системы. Выворачивание начинается при достижении предельной нагрузки величиной $q = 819$ кПа и идет от полюса к наружному краю. Оболочка выворачивается осесимметрично без перехода на неосесимметричные формы равновесия. Кривая деформирования в координатах: давление q – прогиб полюса w_0 приведена на рис. 1.

Библиографический список

1. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. М.: Наука, 1976. 984 с.
2. Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций / А.В. Кармишин, В.А. Лясковец, В.И. Мяченков, А.Н. Фролов. М.: Машиностроение, 1975. 376 с.
3. Чупин В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния пологого сферического сегмента постоянной толщины при различных параметрах тонкостенности / В.В. Чупин, Д.Е. Черногубов // Строительство и образование: сборник научных трудов / Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. № 12. С. 73-74.

СТРУЙНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ГРУНТОВ В ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИИ И ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.И. ЯМОВ, Ю.С. ВЕДИЩЕВА, студ. В.Л. БАРАНОВА, Ю.Р. ГАБТУЛХАНОВА, М.А. НОВОСЕЛОВ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Технология струйной цементации грунтов («jet grouting») – современный метод закрепления грунтов, основанный на разрушении и перемешивании естественного грунта высоконапорной струей цементного раствора. В результате закрепления в грунте образуются колонны из нового материала – грунтобетона.

Устройство грунтоцементных свай (Jet свай) выполняется в два этапа – в процессе прямого и обратного хода производят бурение лидерной скважины до проектной отметки. В процессе обратного хода в форсунки (сопла) монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны, подают под высоким давлением цементный раствор и начинают подъем колонны с одновременным её вращением.

Технология струйной цементации может быть эффективно применена при решении следующих задач подземного строительства:

- закрепление и армирование грунтов;
- усиление всех типов фундаментов;
- сооружение ленточных в плане конструкций типа «стена в грунте»;
- устройство анкерных креплений;
- укрепление грунта вокруг строящихся подземных сооружений;
- временное ограждение котлованов;
- создание противодиффузионных завес;
- уплотнение стыков между панелями траншейных «стен в грунте».



Рис. 1. Грунтоцементные сваи

Технология «jet grouting» особенно актуальна при ведении строительства в условиях плотной городской застройки, где необходимо исключить отрицательное влияние нового строительства на соседние здания и сооружения. К таким отрицательным воздействиям относятся изменения напряженно-деформированного состояния массива